

Selection and Combination Experiments of Fillers for Biological Retention Facilities in North Areas

Anna Jiang¹, Jun Liu¹, Wanli Dong¹, Shuang Huang²

¹Shenyang Jianzhu University, Shenyang Liaoning

²China Northeast Architectural Design & Research Institute, Shenyang Liaoning

Email: 1356609366@qq.com

Received: Jun. 12th, 2018; accepted: Jun. 26th, 2018; published: Jul. 3rd, 2018

Abstract

The purpose of this article is to determine the permeability of biological detention facility tests that suit the climatic conditions, soil characteristics, and rainfall characteristics of northern regions. Through the determination of the permeabilities of the six fillers of perlite, zeolite, ceramsite, volcanic rock, activated carbon and vermiculite and the removal effect on pollutants, suitable fillers were selected. In combination with the local soil in Shenyang, a combined packing experiment was conducted to select the optimal combination, which provides a technical reference for conducting biological retention facility. The results show that perlite, zeolite and volcanic rock have outstanding comprehensive effects and can be used as composite filler components. The composite filler test finds that when the ratio of the four fillers of soil, volcanic rock, zeolite, and perlite is 4:1:2:3, the permeability coefficient of the combined filters and the combined fillers has a good removal effect on the pollutants. It was selected as a combination filler for biological retention facilities.

Keywords

Permeability Coefficient, Pollutants Removal Efficiency, Biological Retention Facility

适合北方地区生物滞留设施填料筛选与组合试验研究

蒋安娜¹, 刘 军¹, 董万里¹, 黄 爽²

¹沈阳建筑大学, 辽宁 沈阳

²中国建筑东北设计研究院, 辽宁 沈阳

摘要

本研究为确定适合北方地区的气候条件、土壤特性和降雨特征等条件的生物滞留设施填料,通过测定珍珠岩、沸石、陶粒、火山岩、活性炭和蛭石六种填料的渗透系数及对污染物的去除效果,筛选出适宜填料。并搭配沈阳本地土壤进行组合填料试验,选出最优组合为开展生物滞留设施试验提供技术参考。结果显示,单种填料试验中,珍珠岩、沸石和火山岩综合效果突出,可作为组合填料成分。组合填料试验中发现,当土壤、火山岩、沸石、珍珠岩四种填料的比例为4:1:2:3时,其组合填料的渗透系数和各组合填料对污染物的去除效果较好。选其做生物滞留设施的组合填料。

关键词

渗透系数, 污染物去除效果, 生物滞留设施

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

生物滞留设施是指在地势较低的区域,通过植物、土壤和微生物系统蓄渗、净化径流雨水的设施[1]。生物滞留设施是一种比较典型的原位控制措施,在国内,也被称为生物滞留系统、生物滞留槽、植物滞留系统、生物过滤系统等。根据设施的外观、大小、建造位置和适用范围,生物滞留设施可分为雨水花园、滞留带、滞留花坛和生态树池四种类型[2]。生物滞留设施包含三个主体部分:植物、填料和微生物。径流雨水中的污染物质经过渗滤、截留和吸附等作用被削减,净化后的雨水渗透至地下,补充地下水或者通过底部的穿孔收集管输送到后续处理设施,通过增加蒸发和渗透过程模拟雨水自然循环过程,以实现滞留和净化雨水的目的。该设施主要用于处理高频率的中小型降雨和小概率暴雨事件的初期雨水,超过处理能力的雨水通过溢流系统排放。生物滞留设施在净化雨水、控制径流总量、削减洪峰、积蓄雨水并补充地下水等方面均有良好的表现,同时其建造和维护费用较低[3]。

本试验结合北方严寒地区的气候特点、降雨特征、土壤和植被生长特性,针对雨水径流削减与控制问题,根据低影响开发雨水系统的构想[4][5],筛选出2~3种填料并确定最优填料组合,为进一步开展生物滞留设施植草试验及应用研究提供技术参考。

2. 试验装置与检测方法

2.1. 试验装置

在单种填料筛选试验及组合填料过滤试验阶段,采用高60 cm,外径6 cm,内径5 cm的圆柱形有机玻璃滤柱作为试验装置,见图1。填料填充高度30 cm,底层铺垫高为5 cm的砾石层,砾石粒径5~10 mm,防止堵塞出口。采用蠕动泵供水,上方进水,底部出水。



Figure 1. Experimental device—filtration column

图 1. 实验装置——滤柱

2.2. 检测方法

由于雨水收集较困难,且受季节影响大,本试验根据沈阳市道路雨水水质污染情况自行配水,模拟雨水试验。水样中各指标检测方法分别如下:SS 指标采用烘干称重法、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 指标采用纳氏试剂分光光度法、TP 指标采用钼酸铵分光光度法、COD 指标采用快速消解法、重金属(Cr、Cu、Zn、Cd、Pb)指标利用 ICP-MS 进行检测。

3. 实验结果与分析

3.1. 单种填料筛选试验

结合单种填料的渗透系数及对污染物的去除效果,综合考虑确定 2~3 优质单种填料。本试验中选取了珍珠岩、沸石、陶粒、火山岩、活性炭、蛭石六种过滤介质进行单种填料过滤筛选试验。试验开始前对各滤料进行反复冲洗、晾干,然后用筛子筛选出特定粒径大小的填料备用,填料性质如表 1 所示。

3.1.1. 单种填料的渗透系数测定

达西定律揭示了水在多孔介质中渗流的实验规律,故本试验采用达西定律(公式(1))测定渗透系数(K)。采用常压水头法测定渗透系数时,为确保结果准确性,测定次数至少两次,直至两次出水计算出的渗透系数在允许的差值范围内($<2 \times 10^{-n} \text{ cm/s}$) [6]。

$$Q = KA \frac{h}{L} = KAI \quad (1)$$

其中: Q ——渗透量(出口处流量); A ——过水断面

H ——水头损失($h = H_1 - H_2$, 即上下游过水断面的水头差)

L ——渗透途径(上下游过水断面的距离)

I ——水利梯度; K ——渗透系数

渗透系数测定结果:

由表 2 试验结果可知,六种填料渗透系数大小排序为:火山岩 > 陶粒 > 活性炭 > 沸石 > 珍珠岩 > 蛭石。火山岩和陶粒的平均渗透系数都达到了 2 cm/s 以上,由于火山岩多孔、多棱角,形状更不规则,因此火山岩的平均渗透系数大于陶粒。

Table 1. Filler properties**表 1.** 填料性质

种类	珍珠岩	沸石	陶粒	火山岩	活性炭	蛭石
粒径范围(mm)	2.36~4.75	2.36~4.75	4.75~9.5	4.75~9.5	2.36~4.75	<4.75
比表面积(m ² /g)	300~360	500~1100	2.3~8	13.6~25.5	590~1500	100~300

Table 2. The permeability coefficient of single filler**表 2.** 单种填料的渗透系数

材料	第一次渗透系数 (cm/s)	第二次渗透系数 (cm/s)	平均渗透系数 (cm/s)
珍珠岩	0.62	0.54	0.58
沸石	0.76	0.88	0.82
陶粒	2.14	2.26	2.2
火山岩	2.56	2.48	2.52
活性炭	1.12	0.90	1.01
蛭石	0.44	0.32	0.38

3.1.2. 单种填料对污染物的去除效果分析

分别用六种填料对模拟雨水进行净化试验,分析六种填料对 TSS、COD、NH₃-N、TP 和五种重金属 (Cr、Cu、Zn、Cd、Pb) 的去除效果。试验的降雨重现期取 10 年,模拟降雨的进水污染物平均浓度情况如下: TSS (320.13 mg/L)、COD (138.22 mg/L)、NH₃-N (9.55 mg/L)、TP (1.34 mg/L)、Cr (112.16 μg/L)、Cu (153.78 μg/L)、Zn (488.35 μg/L)、Cd (2.34 μg/L)、Pb (104.07 μg/L), 图 2 和图 3 代表各填料对污染物的平均去除率。

1) 六种填料对 TSS、COD、NH₃-N、TP 去除效果分析

TSS 的去除: 主要依靠滤料的拦截作用,与滤料粒径、均匀度和形状有直接关系。单种填料过滤试验中,滤料粒径越大,形成的空隙越大,对 TSS 拦截效果越差。由图 2 知,六种滤料对 TSS 的去除率分别为 87.20%、73.85%、60.9%、56.49%、73.88%和 84.92%,只有经蛭石过滤的 TSS 出水浓度达到了城镇污水厂污染物排放标准三级标准,其他出水浓度均高于 100 mg/L,远高于城镇污水厂污染物排放标准三级标准。六种填料对 TSS 的平均去除率由高到低排序:珍珠岩 > 蛭石 > 活性炭 > 沸石 > 陶粒 > 火山岩。

COD 的去除: 主要依靠填料的截留和吸附作用。由图 2 知,六种填料对 COD 去除率都较低,其中活性炭由于比表面积最大,吸附力强,对 COD 的去除效果最明显,出水浓度达到了城镇污水厂污染物排放标准二级标准,平均去除率达到了 39.15%。其余五种填料对 COD 的去除效果均不理想。平均去除率由高到低排序:活性炭 > 火山岩 > 沸石 > 陶粒 > 珍珠岩 > 蛭石。

NH₃-N 的去除: 主要依赖于填料截留、吸附和离子交换作用。由图 2 知,陶粒去除 NH₃-N 的效果最差,平均去除率仅为 6.55%,珍珠岩、火山岩、活性炭、蛭石的平均去除率分别为 19.51%、23.16%、14.54%、21.30%。沸石是由硅氧和铝氧及其他阳离子按照一定连接方式形成的具有三维架状孔状结构的矿物,具备离子交换性能,因此沸石去除氨氮效果最好,出水浓度达到了城镇污水厂污染物排放标准一级 A 标准,平均去除率高达 43.21%。六种填料对 NH₃-N 的平均去除率由高到低排序:沸石 > 蛭石 > 活性炭 > 火山岩 > 珍珠岩 > 陶粒。

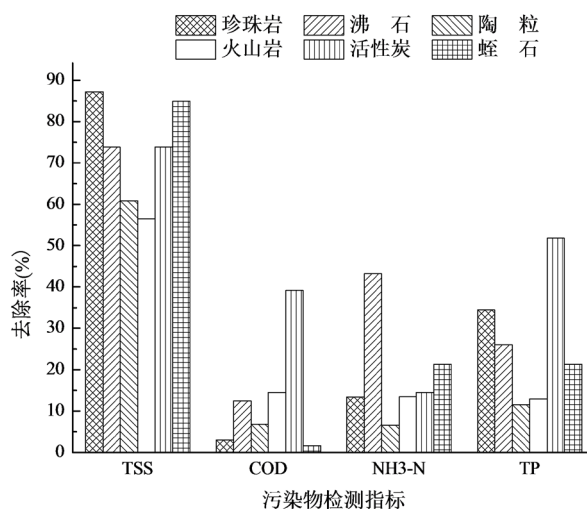


Figure 2. Pollutants removal efficiency by single filler

图 2. 单介质对污染物去除效果

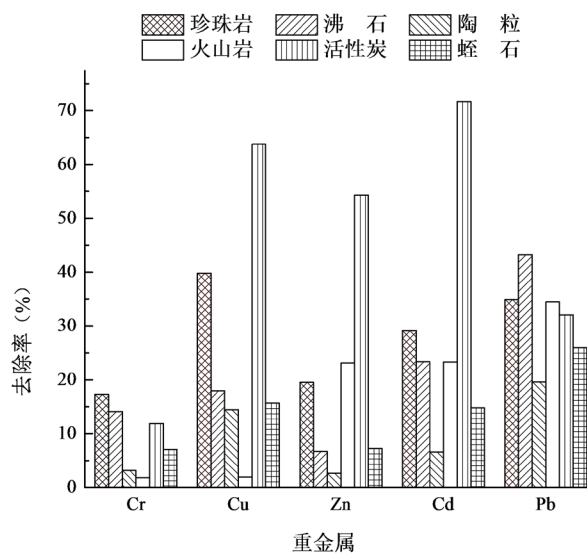


Figure 3. Heavy metals removal efficiency by single filler

图 3. 单介质对重金属去除效果

TP 的去除：主要依赖于填料的拦截和吸附作用。由图 2 知，陶粒、火山岩对 TP 的平均去除率分别为 11.53% 和 12.89%，效果较差。主要是因为陶粒、火山岩粒径较大，形成的空隙大，在过滤过程中 TP 与填料接触机会低，且有部分拦截下的 TP 很有能被水流重新冲刷下来，因此去除效果较差。珍珠岩、沸石、蛭石粒径小，对 TP 的去除效果优于陶粒和火山岩，平均去除率分别为 34.53%、26.02% 和 21.32%，其中珍珠岩的出水浓度小于 1 mg/L。活性炭吸附性能最佳，对 TP 的去除效果最好，出水浓度均达到了城镇污水厂污染物排放标准一级 B 标准，平均去除率为 51.82%，明显高于其他五种填料。六种填料对 TP 的平均去除率由高到低排序：活性炭 > 珍珠岩 > 沸石 > 蛭石 > 火山岩 > 陶粒。

2) 六种填料对重金属的去除效果

重金属的去除主要依靠填料的截留和吸附作用。由图 3 知，六种填料对 Cr 的去除效果不显著，其中珍珠岩对 Cr 的去除率最高，平均去除率为 17.30%，陶粒和火山岩粒径比较大，对 Cr 的截留效果较差，

平均去除率分别为 3.19% 和 1.81%。填料对 Cu 的截留吸附作用优于 Cr, 活性炭对 Cu 的去除效果最明显, 珍珠岩次之, 平均去除率分别为 63.75% 和 39.83%, 火山岩的去除率最低。不同填料对 Zn 和 Cd 的去除效果差异很大, 活性炭比表面积最大, 吸附性能最强, 对这两种金属的去除都最高, 平均去除率分别为 54.27% 和 71.67%, 经陶粒过滤后出水中的 Zn 和 Cd 的浓度最高, 去除效果最差, 平均去除率分别为 2.67% 和 6.60%。填料对 Pb 的处理效果差异不明显, 沸石和活性炭对 Pb 的去除效果较好, 平均去除率分别为 34.92% 和 34.44%, 陶粒对 Pb 的平均去除率最低。

通过单种填料筛选试验, 选出沸石、火山岩和珍珠岩三种填料作为组合填料的组成。

3.2. 组合填料筛选试验

将沸石、火山岩、珍珠岩和校园土壤通过不同比例混合, 且比例总和满足 100%, 筛选出最优组合填料作为生物滞留设施的混合填料层, 具体组合共 15 组。具体组合见表 3。

3.2.1. 组合填料的渗透系数测定

组合填料过滤试验的渗透系数测定仍采用常压水头法。测定结果见表 3。

目前, 美国 EPA 和新西兰的规范要求填料的渗透速率不低于 3.47×10^{-3} cm/s, 奥地利规范对填料渗透速率的要求为 $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2}$ cm/s, 澳大利亚规范对填料渗透速率的要求为 $1.40 \times 10^{-3} \sim 5.56 \times 10^{-2}$ cm/s [7] [8], 本试验组合填料的渗透系数筛选参考以上国家规范, 选择范围在 $1.40 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2}$ cm/s 之间。

当土壤比例为 20% 时, 渗透系数随着火山岩比例的增加而显著增加, 2 号组合的渗透系数最小为 7.60×10^{-3} cm/s, 6 号组合为最大值 1.38×10^{-2} cm/s, 其中, 当火山岩比例为 30% 时, 渗透系数随着沸石的比例的增加而提高。当土壤比例为 40% 时, 渗透系数在 $5.74 \times 10^{-3} \sim 7.22 \times 10^{-3}$ cm/s 之间, 此时火山岩和沸石对渗透系数的影响减弱。当土壤比例为 60% 时, 渗透系数显著减小, 在 $1.27 \times 10^{-3} \sim 1.63 \times 10^{-3}$ cm/s 之间, 且其他三种填料的对比对渗透系数影响很小。

Table 3. Mixed packing ratio
表 3. 混合填料比例

种类编号	土壤(%)	火山岩(%)	沸石(%)	珍珠岩(%)	渗透系数(cm/s)
1	20	20	20	40	9.80×10^{-3}
2	20	10	20	50	7.60×10^{-3}
3	20	20	30	30	1.02×10^{-2}
4	20	30	10	40	1.26×10^{-2}
5	20	30	20	30	1.37×10^{-2}
6	20	30	30	20	1.38×10^{-2}
7	40	10	10	40	6.12×10^{-3}
8	40	10	20	30	6.41×10^{-3}
9	40	10	30	20	6.20×10^{-3}
10	40	20	10	30	5.74×10^{-3}
11	40	20	20	20	6.67×10^{-3}
12	40	30	10	20	7.22×10^{-3}
13	60	10	10	20	1.27×10^{-3}
14	60	10	20	10	1.43×10^{-3}
15	60	20	10	10	1.63×10^{-3}

沸石、火山岩、蛭石三种填料的添加改善了土壤的渗透系数，渗透系数的总体趋势是随着土壤比例的增加而减小，其次，在土壤比例越低时，这三种填料对渗透系数影响越大，且影响力大小排序：火山岩>沸石>珍珠岩。填料组合编号为4号、5号和6号的组合填料的渗透系数过大，超过奥地利规范允许渗透系数最大值的30%以上，渗透系数过大，水流与填料接触时间减小，会影响污染物去除效果。当土壤比例为60%时，13号、14号和15号组合填料的K值接近澳大利亚要求的最低值，由于生物滞留设施在建造后经过一段时间地自然下沉，填料会进一步压实，同时，运行后填料会拦截道路雨水中污染物，渗透系数进一步较小，因此，不建议采取60%土壤比例的组合填料。因此，进行污染物去除效果测定试验时，不考虑4号、5号、6号、13号、14号和15号组合填料。

3.2.2. 组合填料对污染物的去除效果分析

填料装填后放置两天，让填料自然沉压实，重现期分别取5年和10年，各组合填料的污染物去除效果及分析如下：

1) 各填料对 TSS、COD 的去除效果

由图4知，组合填料对TSS的去除效果受本地土壤的比例影响很大，随着土壤比例增加，TSS去除率在下降，前8组组合填料的TSS出水浓度基本满足城镇污水厂污染物排放标准三级标准，只有12号组合填料在重现期为10年时，出水浓度为53 mg/L，略高于城镇污水厂排放三级标准。进水流速对TSS的去除效果也有影响，随着流速增加，去除率略有下降。当土壤比例为20%时，2号的出水浓度最低，当土壤比例为40%时，7和8号的去除效果较好，火山岩、沸石、蛭石的比例为10%、10%、40%和10%、20%、30%，两组填料中火山岩所占的比例最小，为10%，同时火山岩和沸石比例之和较小，不超过30%。测定结果表明出水的TSS来源于两部分：① 进水中未被完全去除的固体颗粒，② 水流裹挟土壤流出的部分固体颗粒。因此填料中土壤比例不宜过高，并且在组合填料之下应铺设一层不含土壤成分的填料层，比如粗砂等，进一步拦截出水中的固体颗粒。总体上，组合填料对TSS有很好的去除效果。

由图5知，组合填料对COD的去除效果不明显，9组组合填料的COD出水浓度均超过了城镇污水厂污染物排放三级标准，单单依靠填料的截留吸附作用很难去除COD。由测试结果可知，7~12号组合填

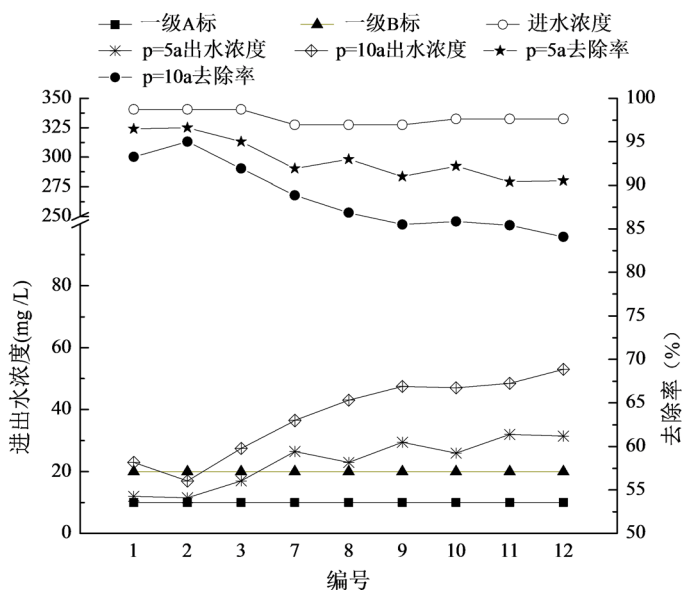


Figure 4. Removal efficiency of TSS by combined filler

图4. 组合填料对TSS的去除效果

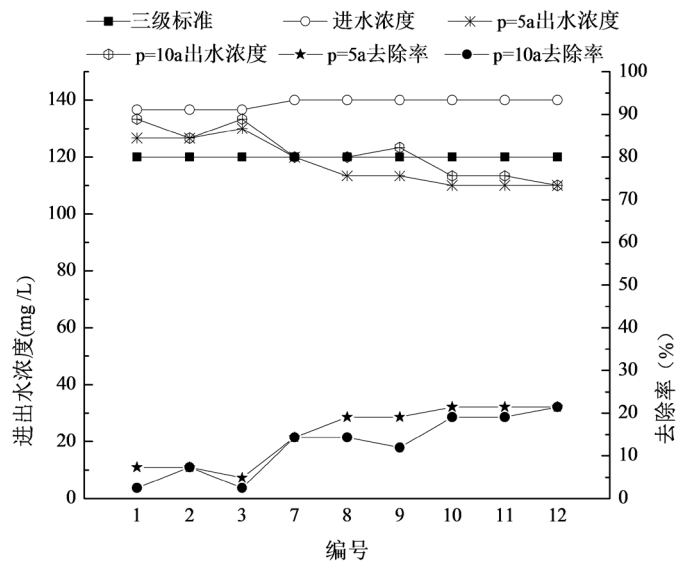


Figure 5. Removal efficiency of COD by combined filler
图 5. 组合填料对 COD 的去除效果

料比 1~3 号组合填料的去除率更高,即随着土壤比例增加, COD 的去除率提升了,因为土壤的粘性较大,吸附性强。重现期取 5 年时,组合填料对 COD 的去除率在 2.44%~21.43%之间,重现期取 10 年,对 COD 的去除率在 4.88%~21.43%之间,随着进水流速增加,水流与填料接触时间变短,去除率降低。

2) 对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的去除效果

由图 6 知,组合填料对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果明显高于单种滤料,因为组合填料的渗透系数远低于单种滤料,径流雨水过滤时与填料的接触时间延长,吸附性能可以更好地发挥。土壤比例为 20% 的组合填料的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 出水浓度高于土壤比例为 40% 的组合填料,1~3 号组合填料的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 出水浓度均达到了地表水环境质量标准 III 类水体标准,7~12 号达到了地表水环境质量标准 II 类水体标准,其中 7 和 8 号组合填料的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 出水浓度较低,土壤对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 有吸附性,随着土壤比例增加,组合填料对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率变大。土壤比例为 20%,重现期从 5 年变为 10 年时,去除率范围由 89.31%~91.01% 变为 87.51%~90.05%,随着进水流速增加,去除率下降,当土壤比例为 40% 时,去除率范围由 90.87%~92.48% 变为 90.43%~92.38%,去除效果受重现期影响变小。7 号、8 号和 10、11 号组合,当沸石比例从 10% 提高到 20%,去除率明显增加,沸石比例改变会影响 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果,组合填料中沸石比例不宜低于 20%。

由图 7 知,组合填料对 TP 的去除效果高于单种滤料,1~3 号组合填料的出水浓度均达到了地表水环境质量标准 IV 类水体标准,7~12 号达到地表水环境质量标准 III 类水体标准。土壤具有吸附性,对 TP 的去除影响较大,随着土壤比例增加,TP 去除率变大。7、8、9 号组合填料的 TP 出水浓度较低,土壤比例为 40%,此时火山岩所占比例最小,为 10%,火山岩和沸石比例总和不超过 40%,即当火山岩及沸石比例较小时对 TP 的去除效果更好。

3) 组合填料对重金属的去除效果

对重金属去除主要依靠填料的过滤拦截和吸附作用,组合填料对五种重金属的去除效果明显高于单种滤料(图 8~12)。组合填料对金属 Cr 的去除效果一般,去除率不超过 50%,土壤所占比例为 20% 时,去除率范围 28.12%~33.61%,土壤比例为 40% 时,去除率范围 26.72%~45.61% 随着土壤比例增加,去除率变大,1 号、2 号、3 号、7 号、8 号和 10 号组合填料的去除率比较高,经分析这五组组合填料的珍珠岩含量比较高,比例高于 30%,由单种填料测试结果可知,珍珠岩对 Cr 的去除效果较好。组合填料对

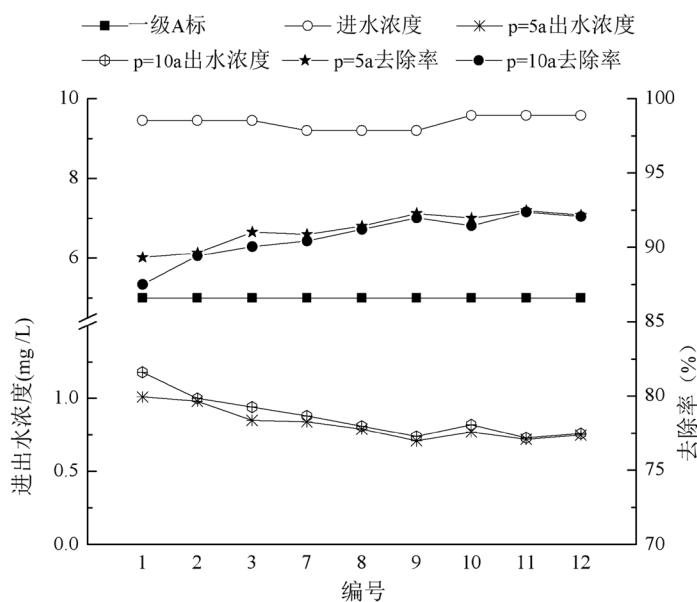
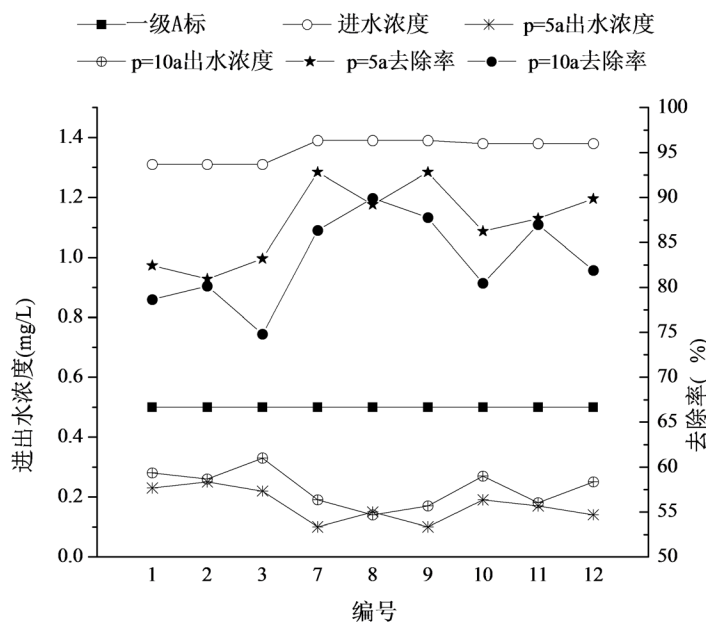
Figure 6. Removal efficiency of NH₃-N by combined filler图 6. 组合填料对 NH₃-N 的去除效果

Figure 7. Removal efficiency of TP by combined filler

图 7. 组合填料对 TP 的去除效果

Cu 的去除效果比较好, 去除率均超过 80%, 1 号、2 号、3 号、7 号和 10 号的去除率较高, 珍珠岩对 Cu 的去除效果影响比较大。组合填料对 Zn、Cd、Pb 三种金属的去除率很高, 在 90% 以上, 8 号组合填料对 Zn 的去除效果最好, 3 号、8 号和 10 号组合出水中 Cd 的浓度很低, 1~3 号组合比 7~12 号组合填料对 Pd 的去除率更高。重现期为 5 年时的重金属出水浓度低于重现期为 10 年时, 即随着进水流速加大, 重金属去除率下降。

通过组合填料筛选试验, 确定最佳填料组合为: 40% 土壤、10% 火山岩、20% 沸石、30% 珍珠岩。

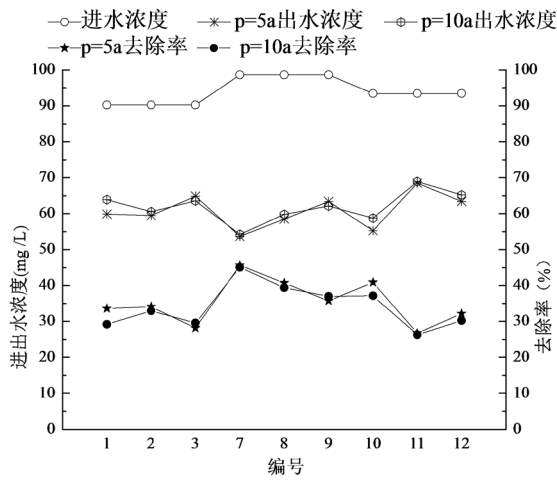


Figure 8. Removal efficiency of Cr by combined filler
图 8. 组合填料对 Cr 的去 除效果

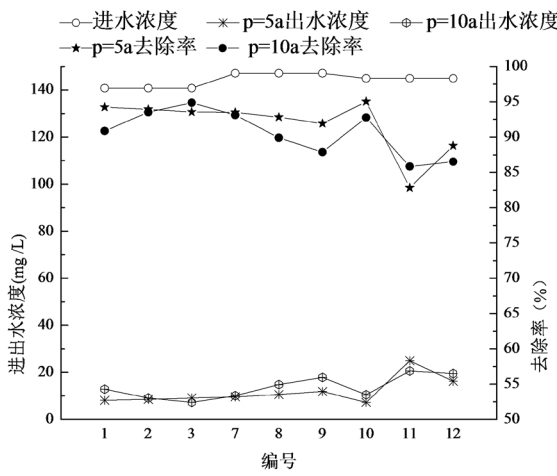


Figure 9. Removal efficiency of Cu by combined filler
图 9. 组合填料对 Cu 的去 除效果

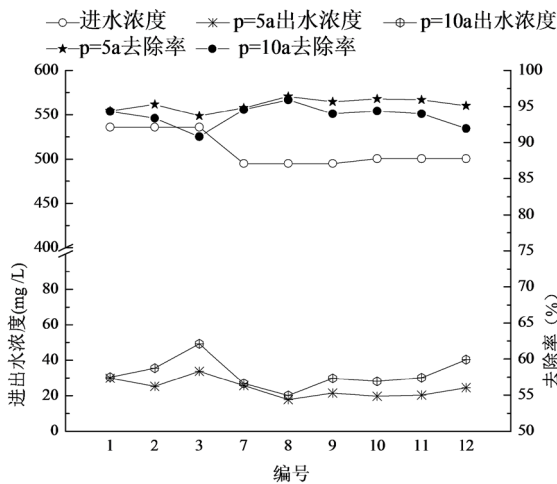


Figure 10. Removal efficiency of Zn by combined filler
图 10. 组合填料对 Zn 的去 除效果

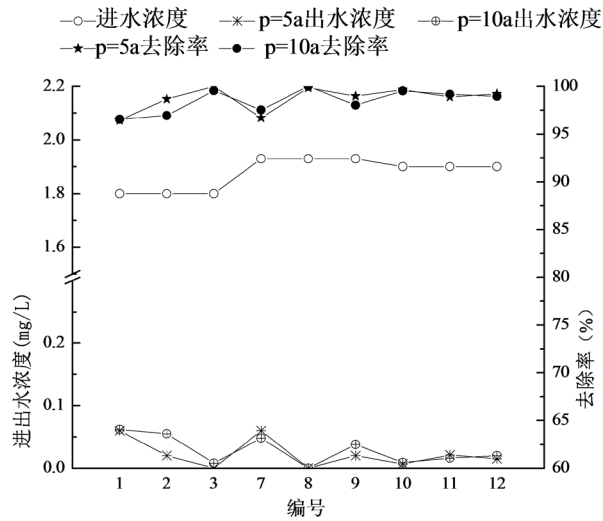


Figure 11. Removal efficiency of Cd by combined filler
图 11. 组合填料对 Cd 的去除效果

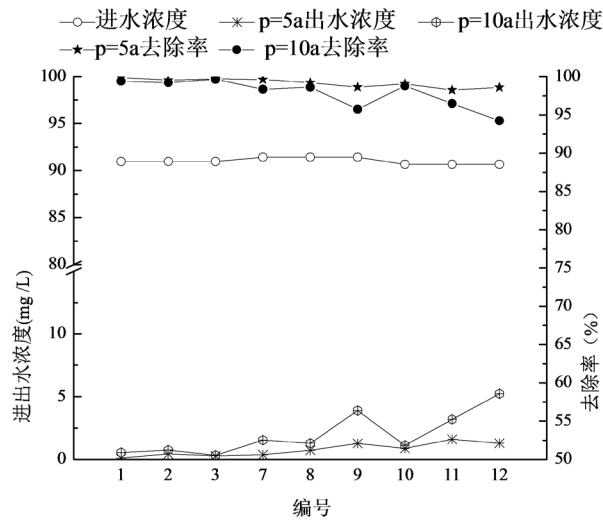


Figure 12. Removal efficiency of heavy metal by combined filler
图 12. 组合填料对 Pb 的去除效果

4. 结论

1) 六种填料渗透系数大小排序：火山岩 > 陶粒 > 活性炭 > 沸石 > 珍珠岩 > 蛭石。从单种滤料对污染物的去除效果上看，珍珠岩对 TSS 的去除效果最佳，可达到 87.20%；沸石对氨氮的去除效果达到 43.21%；而活性炭对 COD (39.15%)、TP (51.82%)和重金属的去除效果相较其他几种填料效果较好。最终选出火山岩、沸石和珍珠岩三种填料，作为生物滞留带的组成部分。

2) 土壤比例为 40%的组合填料更适宜作为生物滞留设施中过滤介质，且土壤比例高些，更易于植物根系向纵向生长，能够有效的缓解填料堵塞问题，同时，火山岩和沸石比例不宜超过 30%，沸石比例在 20%以上为佳，且珍珠岩不低于 30%对重金属的去除效果更好。最终确定最佳填料组合：40%土壤、10%火山岩、20%沸石、30%珍珠岩。

参考文献

- [1] 李大超. 生物滞留设施在北方滨水地区的研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 吉林建筑大学, 2014.
- [2] 李家科, 刘增超, 黄宁俊. 低影响开发(LID)生物滞留技术研究进展[J]. 干旱区研究, 2014, 31(3): 431-439.
- [3] 住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建[Z]. 北京: 住房和城乡建设部, 2014.
- [4] 李春林, 刘淼, 胡远满, 等. 沈阳市降雨径流污染物排放特征[J]. 生态学杂志, 2014, 33(5): 1327-1336.
- [5] 户元凌. 低影响开发雨水系统综合效应的分析研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京建筑工程学院, 2011.
- [6] 南京水利科学研究院. 土木试验规程 SL237-1999-014 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [7] Facility for Advancing Biofiltration (FAWB) (2009) Biofiltration Filter Media Guidelines (Version 3.01).
- [8] Coustumer, S.L., Fletcher, T.D., Deletic, A., *et al.* (2009) Hydraulic Performance of Biofilter Systems for Stormwater Management Influences of Design and Operation. *Journal of Hydrology*, **376**, 16-23.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.012>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aep@hanspub.org